

## **Экспериментальные исследования**

УДК 626/691.328:620.1

DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-3-198-204

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ С БЛОЧНЫМИ ШВАМИ, УСИЛЕННЫХ СИСТЕМОЙ ВНЕШНЕГО АРМИРОВАНИЯ**

О.Д. РУБИН<sup>1</sup>, С.Е. ЛИСИЧКИН<sup>2</sup>, К.Е. ФРОЛОВ<sup>3</sup><sup>1</sup>АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»  
*Строительный проезд, д. 7А, Москва, Российская Федерация, 125362*<sup>2</sup>ООО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике»  
*ул. Свободы, д. 35, Москва, Российская Федерация, 125362*<sup>3</sup>ПАО «РусГидро»  
*ул. Малая Дмитровка, д. 7, Москва, Российская Федерация, 127006**(поступила в редакцию: 12 января 2018 г.; принята к публикации: 5 марта 2018 г.)*

В настоящее время широкое распространение получает метод усиления железобетонных конструкций системами внешнего армирования на основе углеродного волокна. Накоплен значительный опыт в промышленном и гражданском строительстве, а также определенный опыт усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Вместе с тем потребовалось проведение экспериментальных исследований для обоснования технических решений по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Характерная особенность железобетонных конструкций гидротехнических сооружений заключается в обязательном наличии межблочных строительных швов, которое вызвано необходимостью возводить массивные гидросооружения ярусами и блоками с перерывами в бетонировании. Ранее проводились исследования железобетонных конструкций, усиленных композитными материалами, без учета блочного строения. В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований железобетонных балочных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных углеродными лентами, имеющих горизонтальные и вертикальные межблочные строительные швы. Были выполнены экспериментальные исследования серии железобетонных балочных моделей, изготовленных из бетона класса В15 с продольным рабочим армированием из двух стержней диаметром 10 мм класса А500С (процент армирования 0,39%) и из бетона класса В25 с продольным рабочим армированием из трех стержней диаметром 12 мм класса А500С (процент армирования 0,84%), с межблочными строительными швами до и после их усиления продольными и поперечными углеродными композитными лентами. Зафиксирован особый характер трещинообразования, при котором трещины распространяются по вертикальным и горизонтальным межблочным строительным швам. За счет усиления железобетонных конструкций углеродными композитными лентами прочность конструкций повысилась в среднем в 1,78 раза.

**Ключевые слова:** железобетонные конструкции гидротехнических сооружений, межблочные строительные швы, усиление внешним армированием, ленты из углеродного волокна, экспериментальные исследования

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF HYDRAULIC STRUCTURES WITH BLOCK SEAMS, ENHANCED BY THE EXTERNAL REINFORCEMENT SYSTEM

O.D. RUBIN<sup>1</sup>, S.E. LISICHKIN<sup>2</sup>, K.E. FROLOV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Scientific Research Institute of Energy Structures (Joint-Stock Company)  
*7A Stroitel'nyi proezd, Moscow, 125362, Russia*

<sup>2</sup>Engineering Center of Structures, Constructions and Technologies in Power Engineering (Limited Liability Company)  
*35 Svobody St., Moscow, 125362, Russia*

<sup>3</sup>PJSC RusHydro  
*7 Malaya Dmitrovka St., Moscow, 127006, Russia*

(received: January 12, 2018; accepted: March 05, 2018)

A method of strengthening reinforced concrete structures by external reinforcement systems based on carbon fiber is widely used. Significant experience is accumulated in industrial and civil construction; there is also a certain experience of strengthening reinforced concrete structures of hydraulic structures. It was necessary to conduct experimental studies to justify technical solutions for strengthening the reinforced concrete structures of hydraulic structures. A characteristic feature of reinforced concrete structures of hydraulic structures is the mandatory availability of inter-block construction joints, which are caused by the need to build massive hydraulic structures with tiers and blocks with interruptions in concreting. Previously studies of reinforced concrete structures strengthened by composite materials were conducted without taking into account the block structure. The results of experimental studies of reinforced concrete beam structures of hydraulic structures reinforced with carbon strips having horizontal and vertical inter-block building seams are presented in the article. Experimental studies of a series of reinforced concrete beam-type models made of concrete of class B15 with longitudinal reinforcement from two bars. Their diameter is 10 mm and class is A500C (percentage of reinforcement 0.39%). The used concrete class is B25 with longitudinal reinforcement of three bars of diameter 12 mm and class A500C (percentage of reinforcement 0.84%). Their inter-block construction joints is before their strengthening and after reinforcement by longitudinal and transverse carbon composite tapes. In this case, a special type of cracking was recorded, in which cracks propagate along vertical and horizontal inter-block building seams. Due to the strengthening of reinforced concrete structures with carbon composite strips, the strength of the structures has increased, on average, by 1.78 times.

**Keywords:** reinforced concrete structures of hydraulic structures, inter-block building seams, strengthening by external reinforcement, carbon fiber tapes, experimental research

В настоящее время распространяется метод усиления железобетонных конструкций системами внешнего армирования на основе углеродного волокна. В том числе появился определенный опыт усиления железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (ГТС). Для обоснования технических решений по усилению железобетонных конструкций гидротехнических сооружений был проведен комплекс экспериментальных исследований [1; 2].

Следует отметить, что характерную особенность массивных гидротехнических ГТС представляют собой межблочные строительные швы, которые являются неотъемлемой составной частью указанных конструкций, вызванной необходимостью возводить их в несколько этапов с перерывами в бетонировании.

Наличие межблочных строительных швов нашло свое отражение в нормативных документах по проектированию железобетонных конструкций ГТС [3; 4].

Потребовалось проведение исследований железобетонных конструкций ГТС с блочными швами, усиленных внешним армированием на основе композиционных материалов с учетом отечественного и зарубежного опыта [5–8].

Для этих целей была изготовлена серия железобетонных моделей балочного типа с горизонтальными и вертикальными межблочными швами.

Проектные размеры опытных балок: длина – 2150 мм; высота – 300 мм; ширина – 150 мм.

Две балки Б-И15-2.1 и Б-И15-2.2 изготавливались из бетона класса В15 с рабочим продольным армированием из двух стержней диаметром 10 мм класса А500С (процент армирования 0,39%).

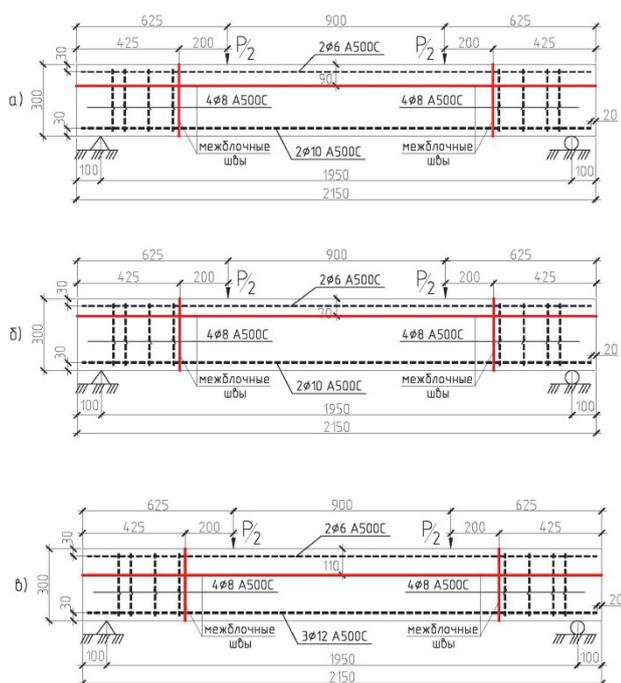
Третья балка Б-И25-1.1 изготавливалась из бетона класса В25 с рабочим продольным армированием из трех стержней диаметром 12 мм класса А500С (процент армирования 0,84%).

Во всех балках на расстоянии 425 мм от торцов устраивались вертикальные межблочные швы.

Также во всех балках устраивался горизонтальный межблочный шов на расстоянии 90, 70 и 110 мм от верхней грани соответственно.

Поперечная рабочая арматура выполнялась из стержней диаметром 8 мм класса А500С на участке между опорой и вертикальным швом таким образом, чтобы участок между силой и вертикальным швом не имел поперечной арматуры.

Конструкция опытных балок представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Конструкции и схемы испытаний опытных балок**

[Fig. 1. Constructions and testing schemes of the experimental beams]

При испытаниях опытные балки опирались на подвижную (катковую) и неподвижную (ножевую) опоры, расположенные на расстоянии 100 мм от торцов.

Нагрузка прикладывалась вертикально посредством гидродомкрата с максимальным усилием 500 кН и передавалась через горизонтальную траверсу в двух точках на расстоянии 450 мм от центра балки. При этом расстояние между силами (зона «чистого» изгиба) составило 900 мм, а расстояние между силами и опорами (пролет среза) составило 525 мм. Схема испытаний показана на рис. 1.

Испытания балок проводились в 2 этапа.

На этапе 1 испытаний железобетонные балки нагружались ступенями до уровня, составляющего около 70% от нагрузки, вызывающей начало текучести в продольной рабочей арматуре. При этом происходило раскрытие вертикальных и горизонтальных межблочных строительных швов и развитие системы вертикальных (нормальных) трещин в зоне действия «чистого изгиба».

На этапе 2 проводились испытания тех же железобетонных моделей, усиленных внешним армированием, до их разрушения.

Оклейка железобетонных моделей элементами усиления (лентами из углеродного волокна) производилась после полного снятия нагрузки.

При этом следует выделить три группы элементов усиления моделей (внешнего армирования).

Первую группу внешнего армирования составляли продольные углеродные композитные ленты типа FibArm 530/150 шириной 150 мм, наклеенные на нижние растянутые грани опытных балок в два слоя. Продольная внешняя арматура анкеровалась поперечными хомутами из углеродных композитных лент шириной 150 мм у торцов балок.

Вторую группу внешнего армирования составляли поперечные хомуты из углеродных композитных лент шириной 50 мм, устанавливаемые в количестве 3-х штук равномерно с шагом 250 мм на среднем участке моделей между двумя силами.

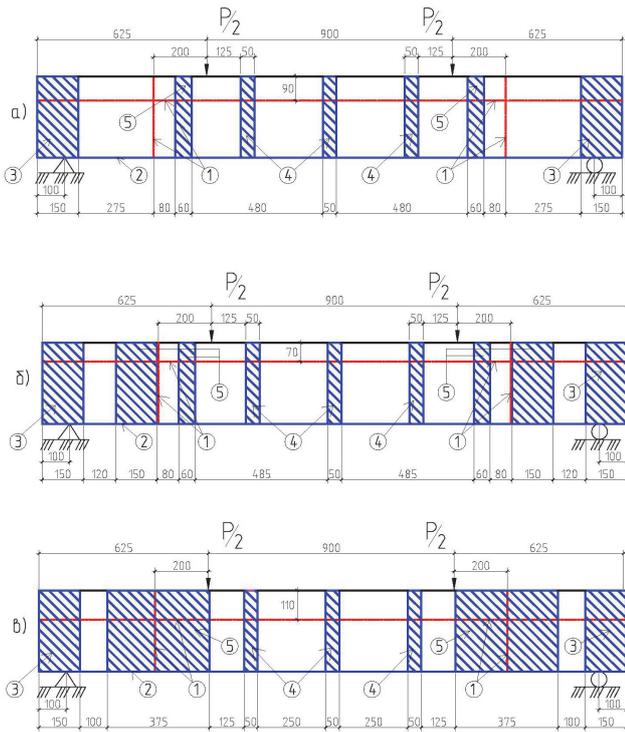
Третью группу внешнего армирования составляли поперечные хомуты из углеродных композитных лент на участке среза между опорой и силой.

В балках Б-И15-2.1 и Б-И15-2.2 (с процентами армирования 0,39%) в пролете среза устанавливались поперечные хомуты из углеродных композитных лент шириной 60 мм на участке между силой и вертикальным межблочным швом.

В балке Б-И15-2.2 в пролете среза добавлялись хомуты из углеродных композитных лент шириной 150 мм на расстоянии 120 мм от торцевых хомутов, анкерующих продольную внешнюю арматуру на нижней грани балок.

В балке Б-И25-1.1 (с процентом армирования 0,84%) в пролете среза устанавливались поперечные хомуты из углеродных композитных лент шириной 375 мм на расстоянии 100 мм от торцевых анкерующих хомутов, вплотную примыкающие к вертикальному сечению под силой.

Схемы оклейки опытных балок углеродными композитными лентами представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Схемы усиления опытных балок композитными углеродными лентами:**

*а* – Б-И15-2.1; *б* – Б-И15-2.2; *в* – Б-И25-1.1;

- 1 – межблочные швы; 2 – углеродная лента шириной 150 мм (2 слоя);
- 3 – анкерирующие хомуты из углеродной ленты шириной 150 мм;
- 4 – хомуты из углеродной ленты шириной 50 мм;
- 5 – хомуты из углеродной ленты в пролете среза

**[Fig. 2. Schemes of amplification of experimental beams by composite carbon strips:**

*a* – B-I15-2.1; *b* – B-I15-2.2; *v* – B-I25-1.1;

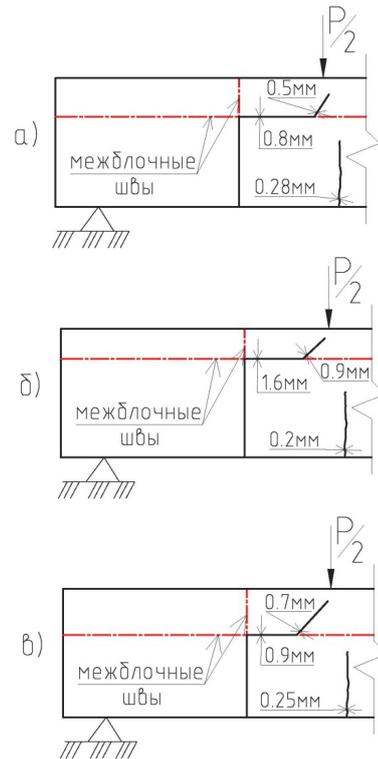
- 1 – interlocking seams, 2 – carbon tape 150 mm wide (2 layers);
- 3 – anchoring clamps made of carbon tape 150 mm wide;
- 4 – clamps from carbon tape with a width of 50 mm;
- 5 – clamps from the carbon tape in the shear span]

Опытные балки оснащались контрольно-измерительной аппаратурой для измерения прогибов, раскрытия межблочных швов, деформаций бетона и элементов усиления конструкций. При этом использовались индикаторы часового типа, тензорезисторы омического сопротивления с базой 20 и 50 мм.

В ходе этапа 1 испытаний (до усиления конструкций) были получены следующие основные результаты.

Во всех опытных балках был зафиксирован особый характер трещинообразования. После раскрытия вертикальных межблочных швов со стороны нижней растянутой грани вертикальные трещины по швам достигли горизонтальных швов и стали продвигаться горизонтально по шву в направлении силы. Вблизи силы трещины выклинились наклонно вверх или вертикально (рис. 3).

На участке между силами образовалась система вертикальных нормальных трещин.



**Рис. 3. Схема характерных трещин в опытных балках на этапе 1 испытаний:**

*а* – Б-И15-2.1; *б* – Б-И15-2.2; *в* – Б-И25-1.1

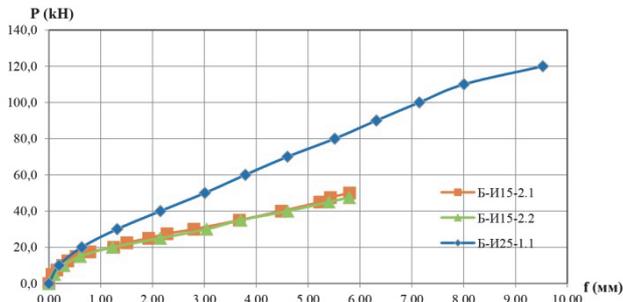
**[Fig. 3. The scheme of the specific cracks in the experimental beams at the stage 1 of the test:**

*a* – B-I15-2.1; *b* – B-I15-2.2; *v* – B-I25-1.1]

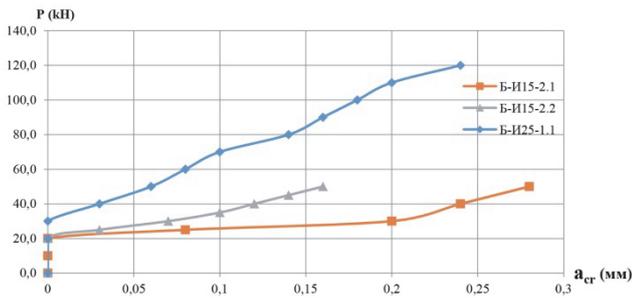
При максимальной нагрузке 50 кН (учитывая, что начало текучести в стержневой арматуре ожидалось при нагрузке 75 кН) раскрытие горизонтального шва составило 0,8 мм в первой балке (Б-И15-2.1) и 1,6 мм во второй балке (Б-И15-2.2). Раскрытие наклонной трещины, направленной к силе, составило 0,5 мм в первой балке и 0,9 мм во второй балке. Максимальное раскрытие вертикальных нормальных трещин составило 0,28 мм в первой балке и 0,2 мм во второй балке.

Графики прогибов опытных балок Б-И15-2.1 и Б-И15-2.2 в центре пролета и ширины раскрытия нормальных вертикальных трещин на первом этапе испытаний представлены на рис. 4 и 5.

Аналогичная картина трещинообразования отмечалась в балке Б-И25-1.1, которая доводилась до нагрузки 120 кН (учитывая, что начало текучести в арматуре ожидалось при нагрузке 160 кН). Раскрытие горизонтального шва составило 0,9 мм, раскрытие наклонной трещины, направленной к силе, составило 0,7 мм. Максимальное раскрытие вертикальных нормальных трещин составило 0,25 мм. Графики прогибов опытной балки Б-И25-1.1 в центре пролета и ширины раскрытия нормальных вертикальных трещин на этапе 1 испытаний представлены на рис. 4 и 5.



**Рис. 4. Прогобы опытных балок в центре пролета на этапе 1 испытаний**  
**[Fig. 4. Deflections of the experimental beams in the center of the span at the stage 1 of the test]**



**Рис. 5. Максимальная ширина раскрытия вертикальных нормальных трещин в средней части пролета на этапе 1 испытаний**  
**[Fig. 5. The maximum width of the opening of the vertical normal cracks in the middle part of the span at the stage 1 of the test]**

На этапе 2 испытаний после снятия нагрузки и оклейки моделей элементами усиления были получены следующие основные результаты. Следует отметить, что после снятия нагрузки произошло частичное или полное закрытие трещин.

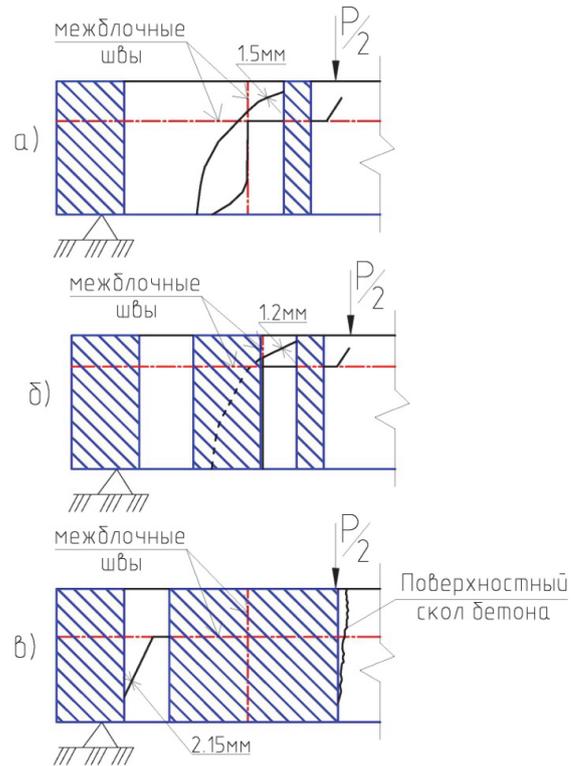
При последующем нагружении элементы усиления препятствовали раскрытию швов и трещин.

В первой (Б-И15-2.1) и второй (Б-И15-2.2) опытных балках нагрузки разрушения составили 125 и 100 кН соответственно (при нагрузке начала текучести в балках без усиления, равной 75 кН), что в 1,67 и 1,33 раза превысило нагрузку начала текучести в опытных балках без усиления.

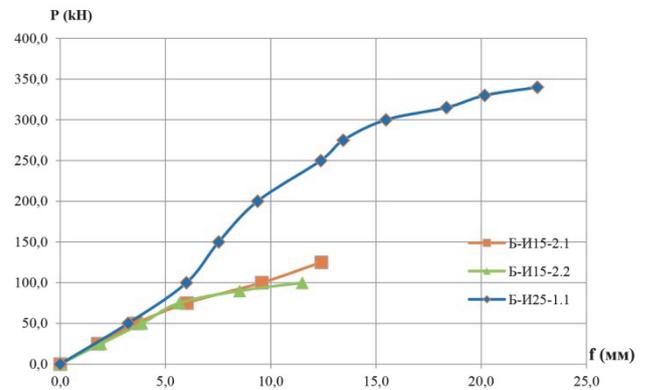
В пролете среза первой балки образовалась наклонная трещина, по которой впоследствии произошло разрушение (рис. 6, а). При этом ширина раскрытия наклонной трещины составила 1,5 мм.

В пролете среза второй балки в просвете между вертикальными хомутами возникла наклонная трещина шириной раскрытия 1,2 мм, по которой впоследствии произошло разрушение (рис. 6, б).

Графики прогибов опытных балок Б-И15-2.1 и Б-И15-2.2 в центре пролета и ширины раскрытия нормальных вертикальных трещин на этапе 2 испытаний представлены на рис. 7 и 8.



**Рис. 6. Схемы трещин разрушения опытных балок на этапе 2 испытаний:**  
 а – Б-И15-2.1; б – Б-И15-2.2; в – Б-И25-1.1  
**[Fig. 6. The scheme of the cracks of the experimental beams destruction at the stage 2 of the test:**  
 а – Б-И15-2.1; б – Б-И15-2.2; в – Б-И25-1.1]

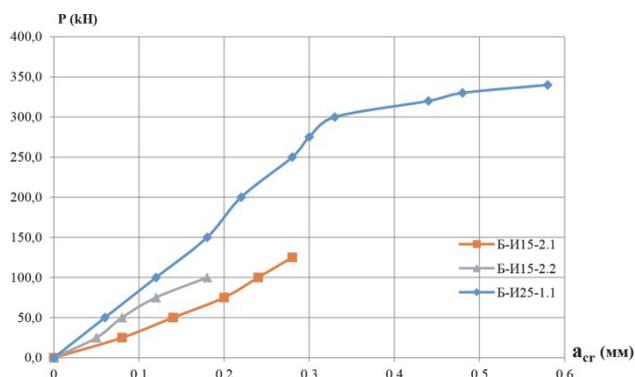


**Рис. 7. Прогобы опытных балок в центре пролета на этапе 2 испытаний**  
**[Fig. 7. Deflections of the experimental beams in the center of the span at the stage 2 of the test]**

Следует обратить внимание на расположение горизонтального шва во второй балке (на расстоянии 70 мм от верхней грани) практически на уровне нейтральной оси, где действуют максимальные вторичные вертикальные растягивающие напряжения [3; 4]. Этим обуславливается большее раскрытие горизонтального шва (1,6 мм) во второй балке, чем в первой балке (0,8 мм) на первом этапе испытания.

Учитывая приведенное выше обстоятельство, а также меньшую прочность на растяжение бето-

на второй балки (1,49 МПа) по сравнению с бетоном первой балки (1,74 МПа), можно объяснить меньшую нагрузку разрушения второй балки (100 кН) по сравнению с нагрузкой разрушения первой балки (125 кН).



**Рис. 8. Максимальная ширина раскрытия вертикальных нормальных трещин в средней части пролета на этапе 2 испытаний [Fig. 8. The maximum width of the vertical normal cracks opening in the middle part of the span at the stage 2 of the test]**

Разрушение третьей балки Б-И25-1.1 произошло под нагрузкой 375 кН (при нагрузке начала текучести в балке без усиления, равной 160 кН) вследствие разрыва горизонтальной углеродной композитной ленты усиления на нижней грани, что в 2,34 раза превысило нагрузку начала текучести в моделях без усиления (160 кН).

Перед разрушением произошло значительное раскрытие наклонной трещины и отслоение бетона под силой (рис. 6, в). При этом ширина раскрытия наклонной трещины, образовавшейся в пролете между хомутами, составила 2,15 мм, а вертикальной нормальной трещины в средней части пролета – 0,56 мм.

Графики прогибов опытной балки Б-И25-1 в центре пролета и ширины раскрытия нормальных вертикальных трещин на втором этапе испытаний представлены на рис. 7 и 8.

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что усиление железобетонных конструкций ГТС, ослабленных межблочными строительными швами, внешним армированием из углеродных композитных лент позволило повысить прочность в среднем в 1,78 раза.

Также был выявлен особый характер трещинообразования, обусловленный наличием вертикальных и горизонтальных межблочных строительных швов.

При этом было зафиксировано влияние расположения горизонтальных швов в первой и второй балках на ширину раскрытия этих швов и на несущую способность опытных балок. Располо-

жение горизонтального шва ближе к нейтральной оси во второй балке обусловило большее раскрытие горизонтального шва и снижение разрушающей нагрузки второй балки по сравнению с первой балкой.

Изучение особого характера трещинообразования при наличии межблочных швов различного направления позволяет управлять процессами реализации технических решений при усилении, ремонте, реконструкции железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

© Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е., 2018

### Список литературы

1. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Балагуров В.Б., Александров А.В. Новая технология ремонта ГТС посредством армирования композитными материалами // Известия ВНИИГ. 2016. Т. 280. С. 3–10.
2. Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е. Результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, усиленных углеродными лентами, при действии изгибающего момента // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2016. № 6. С. 58–63.
3. СП 41.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87. М., 2012. 67 с.
4. П 46-89. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (без предварительного напряжения) к СНиП 2.06.08-87 // Министерство энергетики и электрификации СССР. Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991.
5. Сердюк А.И., Чернявский В.Л. Опыт усиления строительных конструкций композиционными материалами при реконструкции Баканской ГЭС // Гидротехника. 2013. № 3 (32). С. 115–117.
6. Zhou Y. et al. (2013). Reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber reinforced polymer by friction hybrid bond technique: Experimental investigation // Materials and Design. 50. Pp. 130–139.
7. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. (2010). Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer // Mater Des. 31. Pp. 1130–1147.
8. Wu Y.F., Lu J. (2013). Preventing debonding at the steel to concrete interface through strain localization // Composites Part B. 45. Pp. 1061–1070.

### References

1. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Balagurov V.B., Aleksandrov A.V. (2016). Novaya tekhnologiya remonta GTS posredstvom armirovaniya kompozitnymi materialami [New technology of repairing hydraulic structures by means of reinforcement with composite materials]. *Izvestiya VNIIG*, Vol. 280, 3–10. (In Russ.)

2. Rubin O.D., Lisichkin S.E., Frolov K.E. (2016). Rezul'taty ehksperimental'nyh issledovaniy zhelezobetonnykh konstrukcij gidrotekhnicheskikh sooruzhenij, usilennyh uglerodnymi lentami, pri dejstvii izgibayushchego momenta [The results of experimental studies of reinforced concrete structures of hydraulic buildings reinforced with carbon ribbons and subject to a bending moment]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, No 6, 58–63. (In Russ.)

3. SP 41.13330.2012. *Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii gidrotekhnicheskikh sooruzhenij. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 2.06.08-87* [Concrete and reinforced concrete structures of hydraulic buildings. Actualized edition of SNIp 2.06.08-87]. Moscow, 2012, 67. (In Russ.)

4. P 46-89. *Posobie po proektirovaniyu betonnykh i zhelezobetonnykh konstrukcij gidrotekhnicheskikh sooruzhenij (bez predvaritel'nogo napryazheniya) k SNIp 2.06.08-87* [Manual for the design of concrete and reinforced concrete structures of hydraulic buildings (without prestressing) to SNIp 2.06.08-87]. Ministerstvo ehnergetiki i ehlektrifikacii SSSR. Leningrad: VNIIG im. B.E. Vedeneeva Publ., 1991. (In Russ.)

5. Serdyuk A.I., Chernyavskij V.L. (2013). Opyt usileniya stroitel'nykh konstrukcij kompozicionnymi materialami pri rekonstrukcii Baksanskoj GEHS [Experience in strengthening building structures with composite materials during the reconstruction of the Baksanskaya Hydroelectric Power Station]. *Gidrotekhnika*, 3(32), 115–117. (In Russ.)

6. Zhou Y. et al. (2013). Reinforced concrete beams strengthened with carbon fiber reinforced polymer by friction hybrid bond technique: Experimental investigation. *Materials and Design*, 50, 130–139.

7. Akbarzadeh H., Maghsoudi A.A. (2010). Experimental and analytical investigation of reinforced high strength concrete continuous beams strengthened with fiber reinforced polymer. *Mater Des*, 31, 1130–1147.

8. Wu Y.F., Lu J. (2013). Preventing debonding at the steel to concrete interface through strain localization. *Compositer Part B*, 45, 1061–1070.

#### Об авторах

**Рубин Олег Дмитриевич** – доктор технических наук, генеральный директор, АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (АО «НИИЭС»). *Область научных интересов:* безопасность гидротехнических сооружений, теория массивного железобетона гидротехнических сооружений, композитные материалы. *Контактная информация:* info@niies.ru

**Лисичкин Сергей Евгеньевич** – доктор технических наук, заместитель генерального директора, началь-

ник отдела, ООО «Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике» (ООО «ИЦСКТЭ»). *Область научных интересов:* безопасность гидротехнических сооружений, теория массивного железобетона гидротехнических сооружений, композитные материалы. *Контактная информация:* cskte@mail.ru

**Фролов Кирилл Евгеньевич** – инженер, заместитель генерального директора по научно-проектной деятельности, ПАО «РусГидро». *Область научных интересов:* безопасность гидротехнических сооружений, теория массивного железобетона гидротехнических сооружений, композитные материалы. *Контактная информация:* frolovke@gidroogk.ru

#### About the authors

**Rubin Oleg** – Doctor of Technical Sciences, General Director, Scientific Research Institute of Energy Structures (NIIES) (Joint-Stock Company). *Scientific interests:* safety of hydraulic structures, theory of massive reinforced concrete hydraulic structures, composite materials. *Contact:* e-mail – info@niies.ru.

**Lisichkin Sergey** – Doctor of Technical Sciences, Deputy General Director, Head of Division, LLC “Engineering Center of Structures, Constructions and Technologies in Power Engineering” (ITCSKTE) (Limited Liability Company). *Scientific interests:* safety of hydraulic structures, theory of massive reinforced concrete hydraulic structures, composite materials. *Contact:* e-mail – cskte@mail.ru.

**Frolov Kirill** – Engineer, Deputy General Director for Scientific and Design Activities, PJSC RusHydro. *Scientific interests:* safety of hydraulic structures, theory of massive reinforced concrete hydraulic structures, composite materials. *Contact:* e-mail – frolovke@gidroogk.ru.

#### Для цитирования

Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Фролов К.Е. Экспериментальные исследования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений с блочными швами, усиленных системой внешнего армирования // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 3. С. 198–204. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-3-198-204.

#### For citation

Rubin O.D., Lisichkin S.E., Frolov K.E. (2018). Experimental investigations of reinforced concrete structures of hydraulic structures with block seams, enhanced by the external reinforcement system. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(3), 198–204. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-3-198-204.